

Устойчивость джозефсоновского перехода во внешнем магнитном поле

Ю.В. Захаров

*Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036 Красноярск, Россия
Сибирский государственный технологический университет, 660049 Красноярск, Россия*

И.В. Уваев

Сибирский государственный технологический университет, 660049 Красноярск, Россия

Длинный джозефсоновский переход является слоистой системой с характерными размерами, в которой в зависимости от граничных условий и внешних магнитных полей могут наблюдаться размерные и частотные эффекты. В магнитных слоистых системах, например, в задаче о перемагничивании двухслойной магнитной системы (магнитомягкий слой на магнито жесткой подложке), имеющих несимметричные граничные условия на двух поверхностях магнитомягкого слоя, наблюдается пороговая потеря устойчивости при перемагничивании. Была показана [1] аналогия задачи о перемагничивании такого ферромагнитного слоя и задачи об эйлеровой потере устойчивости при изгибе упругого стержня, закрепленного на одном конце, под действием продольной внешней силы.

Обе задачи описываются уравнением типа уравнения нелинейного маятника, а последовательности порогов потери устойчивости этих систем определяются системами собственных значений этих задач.

Стационарный эффект Джозефсона описывается [2, 3] уравнением для разности фаз волновых функций двух сверхпроводников, аналогичным уравнениям равновесия для упругих и магнитных систем.

Проведенные исследования [4 - 9] показали, что в переход, находящийся во внешнем магнитном поле, проникают кванты магнитного потока; были исследованы условия стабильности таких состояний в зависимости от различных типов начального возбуждения.

Однако поведение длинного джозефсоновского перехода во внешнем магнитном поле не рассматривалось как Эйлерова неустойчивость.

В данной работе рассмотрена потеря устойчивости длинного джозефсоновского перехода в магнитном поле как аналогия потери устойчивости упругого стержня при продольной нагрузке или магнитной системы при перемагничивании. Соответствующие пороги потери устойчивости находились при решении известного уравнения для фазы типа уравнения нелинейного маятника с определёнными граничными условиями. Было введено [10] аналогичное эйлеровой силе критическое значение плотности тока $J_1 = 4\pi^2 I_0 / L^2$, где L – длина перехода; минимальный ток $I_0 = \Phi_0 / L_0$, создающий в переходе квант Φ_0 магнитного потока, определяется через индуктивность перехода $L_0 = 2\pi\mu_0 d$, (d – толщина перехода) и рассматривается как жесткость системы. Были получены точные выражения в эллипти-

ческих функциях и интегралах, описывающие распределения полей и плотностей токов для первой и последующих мод, отвечающих последовательности собственных значений задачи.

Было показано, что для джозефсоновского перехода потеря устойчивости состоит в проникновении очередного вихря магнитного поля после достижения внешним магнитным полем очередного порога потери устойчивости. Первое пороговое значение поля по аналогии с упругой системой [11] было названо статическим порогом, последующие пороговые значения поля – динамическими.

В зависимости от соотношения собственного поля перехода и внешнего магнитного поля проникающие в переход вихри могут рассматриваться как “ферромагнитная” или “антиферромагнитная” цепочка спинов во внешнем магнитном поле; возникающие структуры можно назвать “динамическими доменными структурами” [12].

Были рассмотрены малые колебания таких структур [13], возникающих в переходе после потери им устойчивости, с точным учетом граничных условий.

В случае малых колебаний уравнение Синус-Гордона было сведено к уравнению Ламе со сдвигом в аргументе периодического коэффициента.

Это уравнение решалось приближенно аналитическим способом и численно методом Галеркина. Была получена зависимость собственной частоты колебаний фазы от внешнего магнитного поля. Найденные численным и аналитическим способами зависимости частоты колебаний поля перехода от внешнего магнитного поля имеют аналогичное поведение.

В случае, когда собственное поле перехода преобладает над внешним магнитным полем, полученная зависимость имеет монотонно возрастающий характер. Когда собственное поле перехода меньше внешнего поля, эта зависимость является убывающей.

Такое поведение зависимостей колебаний фазы в переходе для различных случаев соотношения полей может быть сопоставлено с синфазными и антифазными колебаниями “динамической доменной структуры”, возникающей в переходе после потери им устойчивости.

Работа поддержана грантом РФФИ № 02-01-01017.

1. Ю.В. Захаров, ДАН 344, 328 (1995).
2. B.D. Josephson, Phys. Lett. 1, 251 (1962).

3. R.A. Ferrell, R.E. Prange, Phys. Rev. Lett. 10, 479 (1963).
4. А.В. Свидзинский, В.А. Слюсарев, ЖЭТФ 51, 177 (1966).
5. И.О. Кулик, ЖЭТФ 51, 1952 (1966).
6. C.S. Owen, D.J. Scalapino. Phys. Rev. 164, 538 (1967).
7. С.А. Васенко, Г.Ф. Жарков, ЖЭТФ 75, 180 (1978).
8. K.N. Yugay, N.V. Blinov, and I.V. Shirokov, Phys. Rev. B49, 12036 (1994).
9. K.N. Yugay, N.V. Blinov, and I.V. Shirokov, Fizika Nizkikh Temperatur 26, 1068 (2000).
10. Ю.В. Захаров, И.В. Уваев, «Исследовано в России», 2002, т. 156. с. 1754-760, (<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/156.pdf>).
11. М.А. Лаврентьев, А.Ю. Ишлинский, ДАН СССР 64, 779 (1949).
12. Yu.V. Zakharov, I.V. Uvaev, Proc. of MISM, р. II. – М.: Физ. фак. МГУ, 1999. P. 44-47.
13. Ю.В. Захаров, И.В. Уваев, Труды III междуна. конф. «Симметрия и дифференциальные уравнения». – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2002. С. 110-114.